MODELO SIMPLIFICADO PARA EL ANÁLISIS DE EFECTOS DIFERIDOS Y PROYECTO DE ESTRUCTURAS PREFABRICADAS COMPUESTAS CONSTRUIDAS EVOLUTIVAMENTE

Jesus Miguel Bairan Garcia[1] y Antonio Marí Bernat[2]

RESUMEN

Se presenta una metodología para el cálculo de los efectos diferidos de la retracción y la fluencia en estructuras prefabricadas de edificación cuya sección se compone por hormigones de distintas características y edades. El método se basa en el Coeficiente de Envejecimiento (Trost y Bazant) y el concepto de tiempo equivalente. Se aplica el método al análisis de una estructura prefabricada resuelta mediante dos procedimientos constructivos distintos y tres posibilidades de pretensado. Se demuestra que las cargas aplicadas cuando la estructura era simplemente apoyada se redistribuye en el tiempo cuando la estructura se hace continua. Esta redistribución puede ser de signo positivo o negativo en función de la cantidad de pretensado de la estructura. Las tensiones en la sección transversal también sufren redistribuciones entre el hormigón prefabricado y el realizado *in situ* siendo fundamental en el diseño del pretensado.

ABSTRACT

A methodology for the calculation of creep and contraction effects over precast building structures composed by different characteristics and ages concretes is presented. The method is based on the Trost-Bazant model. A precast concrete structure is analyzed considering two alternative construction procedures and three prestress solutions. It is shown that loads applied before applying continuity to the structure redistributes in time. This redistribution can be positive or negative signed depending on how prestressed the structure is. Cross section stresses also redistribute between precast and *in situ* concrete minding for the prestress calculation.

INTRODUCCIÓN

La construcción prefabricada de estructuras de hormigón ha demostrado ser una alternativa competitiva debido a su rapidez de ejecución no sólo en construcciones industriales y de obras públicas sino también en el campo de la edificación. En este tipo de obras, son empleados con frecuencia elementos prefabricados parcialmente cuya sección resistente se completa en obra con la losa de compresión del piso y muchas veces es necesario recurrir al pretensado de las vigas y a la continuidad de las uniones viga-columna, para mantener criterios de deformabilidad vertical y/o lateral con dimensiones aceptables y tener ventajas económicas adicionales. De esta forma es alterada la configuración de apoyos de la estructura y complicando la historia de cargas y efectos diferidos

En el presente artículo se aborda el análisis de estructuras prefabricadas de sección transversal compuestas por distintos materiales tanto en lo referente a resistencia y rigidez como en su comportamiento reológico. Este es el caso de las estructuras prefabricadas cuya sección resistente está constituida por al menos dos hormigones de distintas características y edades y de las estructuras mixtas de hormigón y acero.

[1] Ingeniero Civil, M.Sc. Doctorando del Departamento de Ingeniería de la Construcción, E.T.S. Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña. C/ Gran Capitán 1-3, C-1. 08034 Barcelona, España. Tel.: (34) 93.401.73.49; Fax: (34) 93.401.10.36; jesus.miguel.bairan@upc.es.

[2] Catedrático de Universidad. Departamento de Ingeniería de la Construcción, E.T.S. Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña. C/ Gran Capitán 1-3, C-1. 08034 Barcelona, España. Tel.: (34) 93.401.57.62; Fax: (34) 93.401.10.36; antonio.mari@upc.es.

Durante el proceso constructivo propio de las obras prefabricadas y durante su vida útil estas obras se ven sometidas historias de cargas complejas a distintas edades de los materiales constituyentes (inclusive a edades de unos pocos días) de secciones transversales que posteriormente serán alteradas y, en general, se cambian las configuraciones de apoyo de la estructura, convirtiendo una estructura isostática bajo carga en una estructura hiperestática. El comportamiento diferido que se produce es complicado y determinante para las condiciones de servicio y durabilidad, el cálculo de las pérdidas de pretensado y esfuerzos hiperestáticos.

El tratamiento exacto de este problema es complejo e implica la solución paso a paso en el tiempo de una ecuación integral (conocida como integral de *Volterra*) o bien el uso de un modelo reológico basado en series de *Kelvin* (modelo de *Dishinger*) que convierte el problema en un sistema de ecuaciones diferenciales. Estos métodos son numéricamente costosos y complicados y sólo se justifican en el proyecto de estructuras especiales. Debido a esta dificultad y a que los efectos diferidos no son determinantes para los estados límite último, estos efectos son normalmente despreciados en proyectos de edificación. No obstante, si éstos no se tienen en cuenta en la verificación de los estados límite de servicio podría comprometer la calidad final de la obra.

En este artículo se presenta un modelo de cálculo basado en el método simplificado del Coeficiente de Envejecimiento que permite evaluar los efectos enumerados anteriormente de una forma sencilla y consistente con las hipótesis de la resistencia de materiales. Este método es barato y puede usarse como herramienta de diseño, por lo que permite su uso en la industria de la edificación sin aumentar demasiado los costes.

PLANTEAMIENTO DEL MODELO

COMPORTAMIENTO DE UN PUNTO: RELACIONES CONSTITUTIVAS DE LOS MATERIALES

Respuesta Instantánea

Se supone que la relación *tensión-deformación* de todos los materiales sometidos a cargas instantáneas es lineal con un módulo de deformación longitudinal *E*. En el caso de los aceros este módulo es constantes en el tiempo, ec. 1.

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \tag{1}$$

En el caso del hormigón, este módulo aumenta ligeramente con el tiempo de acuerda a una ley de endurecimiento que se expresa, de acuerdo a la Instrucción española de Hormigón Estructural-EHE, en función de la edad del hormigón y del módulo de deformación a los 28 días, como se indica en la ec. 2.

$$\sigma_c = E_c(t)\varepsilon_c = \beta(t)E_{c,28}\varepsilon_c \tag{2}$$

Respuesta Diferida

La relajación de la tensión que sufre un refuerzo de pretensado a longitud constante se tiene en cuenta según la ec. 3.

$$\log\left(\frac{\Delta\sigma_P}{\sigma_{Pi}}\right) = K1 + K2\log(t) \tag{3}$$

Donde *K1* y *K2* son coeficientes que dependen del tipo de acero y de la tensión inicial de pretensado. Estos coeficientes se obtienen a partir de datos que debe facilitar el fabricante. El procedimiento consiste en unir con una recta en papel bilogarítmico los valores de la relajación a 120 y 1000 horas dados para un determinado valor de la tensión inicial y extrapolar los valores de la relajación para otros intervalos de tiempo.

La deformación que presenta una fibra de hormigón en el instante t que ha sido sometida a una tensión constante en el instante t_0 se calcula como se indica a continuación:

$$\varepsilon_c(t,t_0)=\frac{\sigma(t_0)}{E_c(t_0)}\left[1+\frac{E_c(t_0)}{E_{c,28}}\varphi(t,t_0)\right]+\varepsilon_{ct}(t,t_s)$$
$$\varepsilon_c(t,t_0)\approx\frac{\sigma(t_0)}{E_c(t_0)}\left[1+\varphi(t,t_0)\right]+\varepsilon_{ct}(t,t_s) \quad (4)$$

Donde:
$\varphi(t,t_0)$ es el coeficiente de fluencia para una carga aplicada en el tiempo t_0 y durante el intervalo $t - t_0$.
$\varepsilon_{cr}(t,t_s)$ es la retracción que ha sufrido el hormigón desde el tiempo t_s en que ha terminado el curado de éste.

Los distintos hormigones que constituyen una sección compuesta sufrirán deformaciones diferidas distintas para un mismo intervalo de tiempo, más aún, los aceros no presentarán deformaciones diferidas apreciables. Para mantener la compatibilidad de deformaciones es necesario que se produzcan tensiones adicionales en la sección transversal que estarán autoequilibradas, es decir, no producirán esfuerzos resultantes al ser integradas en la sección transversal, no obstante, ocurrirá una redistribución de tensiones en la sección y un movimiento en la estructura. Esto implica que las tensiones a la que se ve sometida una fibra no son en general constantes aún cuando la carga aplicada en la sección transversal sí lo sea.

El cálculo exacto de la deformación de una fibra de hormigón requiere añadir a la ec. 4 un nuevo término integral (conocido como la integral de Volterra) que se indica en la ec. 5.

$$\varepsilon_c(t,t_0)=\frac{\sigma(t_0)}{E_c(t_0)}\left[1+\frac{E_c(t_0)}{E_{c,28}}\varphi(t,t_0)\right]+\int_{t_0}^{t}\frac{d\sigma}{d\tau}\left[1+\frac{E_c(t_0)}{E_{c,28}}\varphi(t,t_0)\right]\frac{d\tau}{E(\tau)}+\varepsilon_{ct}(t,t_s) \quad (5)$$

El problema se hace no-lineal y complejo al depender la variación de tensión en el tiempo de la misma historia de deformaciones requiriendo para su solución exacta un análisis paso a paso en el tiempo como el que se hace en Marí, 1998.

El coeficiente de envejecimiento

El método del coeficiente de envejecimiento fue propuesto en los años 60's por Trost y Bazant (GEHO, 1998) y constituye una forma práctica y sencilla de resolver la ecuación 5. Se define el coeficiente de envejecimiento χ como se indica en la ecuación 6.

$$\int_{t_0}^{t}\frac{d\sigma}{d\tau}\left[1+\frac{E_c(t_0)}{E_{c,28}}\varphi(t,t_0)\right]\frac{d\tau}{E(\tau)}=\left(1+\chi(t,t_0)\right)\varphi(t,t_0)\frac{\Delta\sigma}{E_c(t_0)} \quad (6)$$

La ventaja de este método está en que el coeficiente de envejecimiento χ no presenta mucha variabilidad en función de la tensión, de hecho en algunos casos particulares es independiente de esta. El coeficiente χ puede calcularse de forma suficientemente aproximada a partir de modelos numéricos sin necesidad de calcular la integral de la ec. 6, algunos modelos para calcular este coeficiente se pueden encontrar en CEB-FI, 1995 y GEHO, 1998.

Sobre los dos modelos citados cabe destacar que los modelos del Código Modelo CEB-FI, 1995, facilita el valor de $\chi(t,t_0)$ sólo cuando $t\to\infty$. En cambio el modelo del GEHO, 1998, permite calcular el coeficiente de envejecimiento para tiempos intermedios entre la aplicación de la carga y el tiempo infinito. En un caso como el que nos ocupa, en el que la sección está compuesta por hormigones de distintos tipos y se sigue un procedimiento constructivo con etapas claramente definidas esta ventaja es esencial para calcular los efectos

diferidos al inicio y final de un intervalo, razón por la cual se escribe a continuación este último modelo en la ecuación 7.

$$\chi(t,t_0) = 1 - \frac{(1-\chi^*)(t-t_0)}{20+(t-t_0)}$$
$$\chi^* = \frac{K1 t_0}{K2 + t_0}$$
$$K1 = 0.78 + 0.4e^{-1.33\phi^*(t_0)} \quad (7)$$
$$K2 = 0.16 + 0.8e^{-1.33\phi^*(t_0)}$$
$$\phi^*(t_0) = \varphi(t_\infty, t_0)$$

Anclaje de las armaduras

Se considera adherencia perfecta entre acero y hormigón cuando existe la longitud suficiente anclada dentro del hormigón. En caso contrario, se tiene en cuenta una variación lineal de la tensión de acero desde el extremo hasta la longitud necesaria.

RESPUESTA A NIVEL SECCIÓN

Mantenemos la hipótesis de sección plana para cada incremento de deformaciones. Para acciones derivadas de efectos diferidos esta hipótesis debe verificarse al final de cada incremento de tiempo ya que cada material posee un comportamiento diferido distinto.

CONCEPTO DE TIEMPO EQUIVALENTE

La deformación diferida libre en cada punto de una sección compuesta no garantiza, en general, el cumplimiento de la hipótesis de sección plana y la compatibilidad de deformaciones en la sección debiendo surgir leyes de tensiones autoequilibradas en la sección que obligan el cumplimiento de estas condiciones. Consecuencias de esto son las redistribuciones de tensiones a nivel de sección y movimientos estructurales diferidos; estos movimientos producen a su vez, si la estructura e hiperestática, redistribución de en los diagramas de momento y cortante.

Las nuevas tensiones que se originan en la estructura influyen en la posterior evolución de la historia de cargas. Para poder tenerlas en cuenta en el cálculo es preciso conocer el tiempo (t) en que se puede considerar que se aplican estas tensiones diferidas. La problemática estriba en que dichas tensiones ocurren de forma gradual en el intervalo de tiempo considerado y no de forma inmediata.

Se ha visto que el Método del Coeficiente de Envejecimiento permite calcular la deformación diferida debida a un incremento tensiones ($\Delta\sigma$) que ocurre gradual en el tiempo de forma simplificada, esto se consigue reduciendo el coeficiente de fluencia calculado para este intervalo en un factor $\chi(t,t_0)$ (siempre menor a la unidad).

Lo anterior es equivalente a aplicar el incremente de tensiones ($\Delta\sigma$) de forma instantánea en un instante de tiempo intermedio dentro del intervalo en cuestión ($t_0 \rightarrow t$). Este instante de tiempo se conoce como tiempo equivalente (t_e). El tiempo equivalente se calcula resolviendo la ecuación (8) en función del modelo del coeficiente de envejecimiento empleado.

$$\frac{1}{E_{c,t_0}} + \frac{\chi(t,t_0)\varphi(t,t_0)}{E_{c,28}} = \frac{1}{E_{c,t_e}} + \frac{\varphi(t,t_e)}{E_{c,28}} \quad (8)$$

REDISTRIBUCIÓN DE TENSIONES A NIVEL SECCIÓN

Sean los instantes iniciales y finales de un intervalo t_j y t_k. El proceso de resolver cada intervalo de tiempo es el siguiente.

Al inicio del intervalo de tiempo se tiene una ley de tensiones en la sección que es la suma de tensiones aplicadas en instantes anteriores.

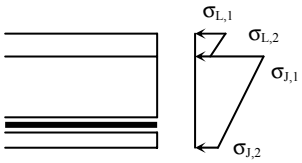

Figura 1 Ley de tensiones al inicio del intervalo

Se libera las coacciones entre materiales y se permite que ocurra la deformación diferida libremente en cada material. De forma aproximada, en el acero activo sólo ocurre relajación a deformación constante en cada intervalo y se adiciona a las pérdidas por acortamiento elástico para obtener la pérdida total del intervalo. En los hormigones ocurre un incremento de retracción y de fluencia.

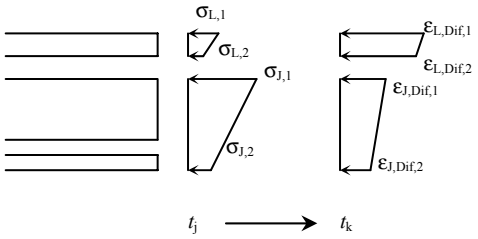

Figura 2 Deformación diferida libre al final del intervalo

En el tiempo equivalente (t_e) se aplican unas tensiones tales que al final del intervalo las deformaciones en cada material sean nulas y se pueda garantizar la compatibilidad de deformaciones en la sección y que la sección permanezca plana. A estas tensiones le llamaremos tensiones de compatibilidad.

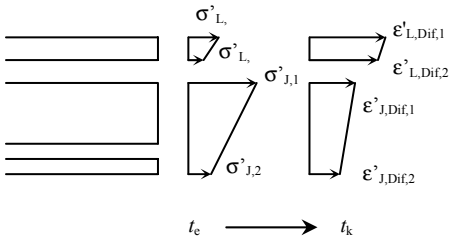

Figura 3 Tensiones de compatibilidad

$$\sigma' = -E_{c,\mathrm{Re}ducido}\,\varepsilon_{c,Dif}$$

$$E_{c,\mathrm{Re}ducido} = \frac{E_c(t_e)}{1+\varphi(t,t_e)} \qquad (9)$$

El equilibrio seccional se consigue aplicando unos esfuerzos, que llamaremos esfuerzos de equilibrio diferido, a la sección homogénea en el instante t_e y que equilibren las tensiones de compatibilidad.

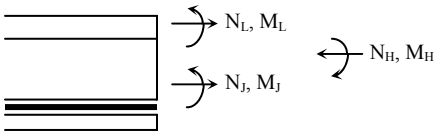

Figura 4 Esfuerzos de equilibrio diferido

$$N_H = -(N_L + N_J) \tag{10.1}$$

$$M_H = -\left(M_L + M_J - N_L\left(y_L - y_H\right) + N_J\left(y_J - y_H\right)\right) \tag{10.2}$$

La suma de los esfuerzos y tensiones anteriores produce un estado tensional autoequilibrado que se aplica en el tiempo equivalente (t_e) y que se incorpora a la historia de tensiones como una acción más.

INCREMENTO DE DEFORMACIÓN EN LA SECCIÓN

Debido a que las tensiones de compatibilidad anulan las deformaciones diferidas toda la deformación que ocurre en la sección durante el intervalo es debido a los esfuerzos de equilibrio seccional, y la sección se deforma plana. Las deformaciones seccionales al final de cada intervalo son las siguiente:

$$\varepsilon_m = \frac{N_H}{E_{c,reducido}(t)A_H} \tag{11}$$

$$\Phi = \frac{M_H}{E_{c,reducido}(t)I_H} \tag{12}$$

Donde A_h e I_h son el área y la inercia homogéneas de la sección compuesta.

Al integrar estas deformaciones seccionales a lo largo del elemento se obtienen los movimientos diferidos o esfuerzos hiperestáticos diferidos causantes de la redistribución de esfuerzos a nivel de estructura.

PERDIDAS DIFERIDAS DE PRETENSADO

El incremento de deformación resultante en el acero activo debido a la aplicación de los esfuerzos de equilibrio diferido es directamente la pérdida elástica de pretensado en éste intervalo de tiempo. Al sumar el incremento de relajación se obtiene la pérdida diferida total en el intervalo considerado, tal como se indica en la ecuación 13.

$$\Delta\sigma_p = E_s\left(\varepsilon_m + \left(y_p - \bar{y}\right)\Phi\right) - \Delta\sigma_{p,relajación} \tag{13}$$

EJEMPLO DE APLICACIÓN

A continuación presentamos el siguiente ejemplo de aplicación de esta metodología de cálculo. Se trata de una viga continua prefabricada de res vanos de edificación, el procedimiento constructivo que indicamos a continuación es usual cuando los elementos prefabricados son también pretensados ya que es posible prescindir de apuntalamiento manteniendo cantos pequeños.

1. Prefabricación en planta de los elementos pretensados individuales.
2. Almacenamiento, transporte y colocación de los tres elementos prefabricados. Inicialmente constituyendo tres elementos isostáticos simplemente apoyados individuales.
3. Colocación de las placas prefabricadas de piso. Esta etapa supone la introducción de una carga permanente importante cuando el sistema todavía no es continuo; no obstante, esto se ve compensado al no requerir apuntalar los vanos, todavía isostáticos, para la colocación de las placas prefabricadas.
4. Se vierte una capa de hormigón en todo el piso que a la vez se aprovecha para rellenar los nudos entre elementos prefabricados y suministrar la continuidad necesaria para absorber momentos negativos.
5. Colocación de la carga permanente adicional.
6. Entrada en servicio de la estructura.

Otro procedimiento alternativo consiste en apuntalar los elementos prefabricadas al ser colocados en la obra y antes de colocar las placas de piso. De esta forma el elemento sólo resiste como biapoyado su propio peso y el resto de la carga es introducido siempre como una viga continua. La ventaja que se gana en la reducción de cantos debe sopesarse con la necesidad de apuntalamiento y la mayor lentitud del procedimiento de construcción. El procedimiento constructivo queda de la siguiente forma:

1. Prefabricación en planta de los elementos individuales.
2. Almacenamiento, transporte y colocación de los tres elementos prefabricados.
3. Apuntalado de los elementos.
4. Colocación de las placas prefabricadas de piso.
5. Se vierte hormigón de compresión que a la vez se aprovecha para rellenar los nudos entre elementos prefabricados y suministrar la continuidad necesaria para absorber momentos negativos.
6. Colocar carga permanente adicional y retirar puntales en el momento oportuno.
7. Entrada en servicio de la estructura.

Si bien la carga introducida antes del hormigonado de los nudos y la formación de la viga continua actúa en elementos viga biapoyados cabe esperar que, debido a que se han alterado las condiciones iniciales de contorno, el impedimento de la fluencia libre fluencia debida a estas cargas produzca una redistribución de los esfuerzos y permita que parte de esta carga, que inicialmente era resistida toda como una viga isostática, sea resistida como una viga continua.

Se analiza en primer lugar una viga siguiendo el primer procedimiento constructivo. La planta de piso se muestra en la figura 6 así como la sección transversal considerada. Se han tenido en cuenta las siguientes cargas: peso propio de placas prefabricadas: 3 KN/m^2, peso propio de capa de compresión: 1.25 KN/m^2, carga permanente adicional: 1.5 KN/m^2, sobrecarga de uso: 3 KN/m^2. El calendario constructivo que se ha considerado, contando a partir de la fabricación de los elementos, es que se indica a continuación: transferencia del pretensado: día 3, colocación de placas prefabricadas: día 7, hormigonado de la capa de compresión: día 17, aplicación cargas permanentes adicionales: día 38, entrada en servicio de la estructura: día 60.

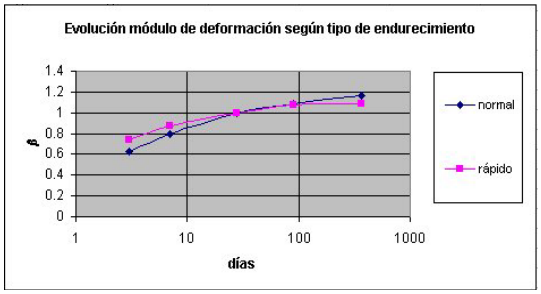

Figura 5 Evolución de los módulos de deformación

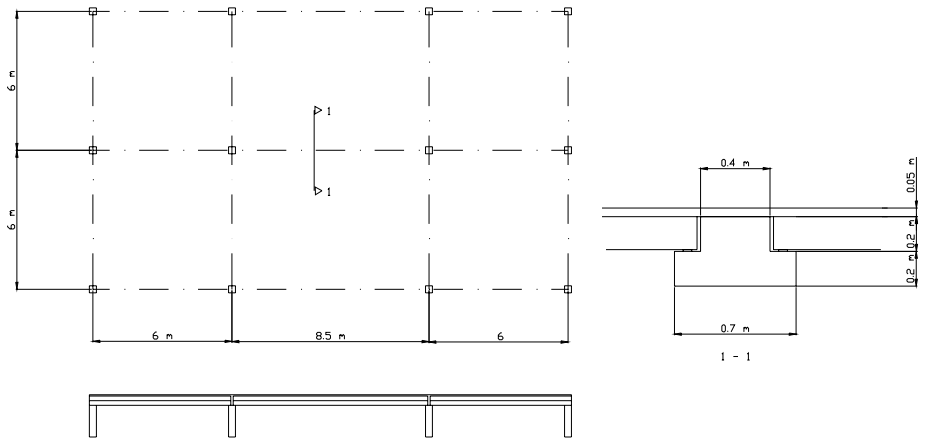

Figura 6 Estructura a analizar. Planta y sección.

El hormigón considerado para los elementos prefabricados es de 50 MPa de resistencia característica y de endurecimiento rápido, en cambio que el hormigón *in situ* se considera de 25 MPa de resistencia característica de endurecimiento normal. La evolución de los módulos de deformación longitudinal (ecuación 2) en los hormigones de endurecimiento rápido y normal se ha hecho empleando los coeficientes β que representados en la figura 5 (EHE, 1999).

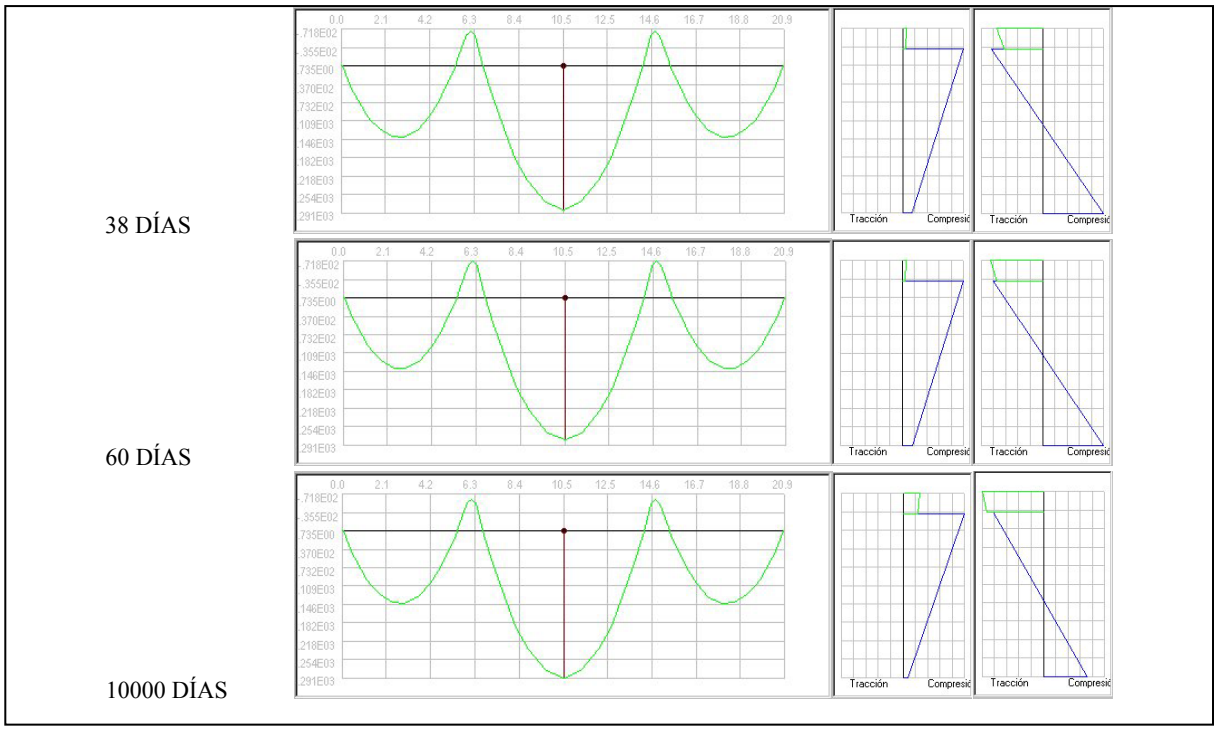

Figura 7 Evolución de la estructura 1.

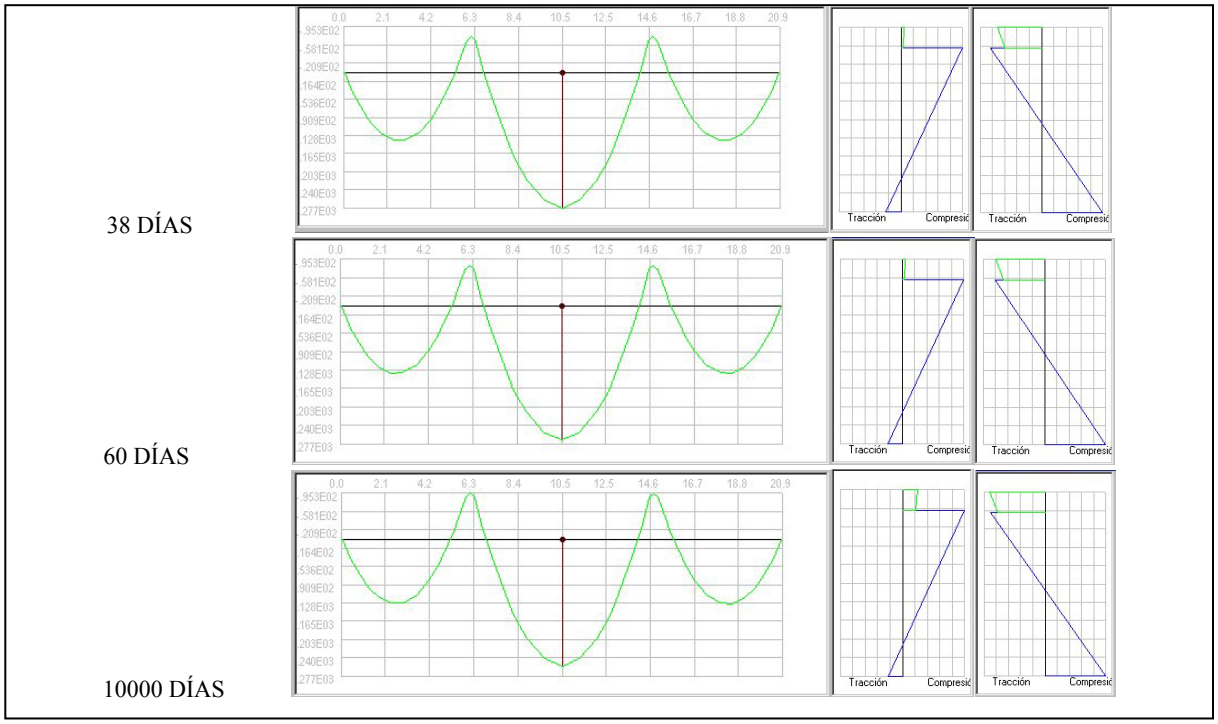

Figura 8 Evolución de la estructura 2.

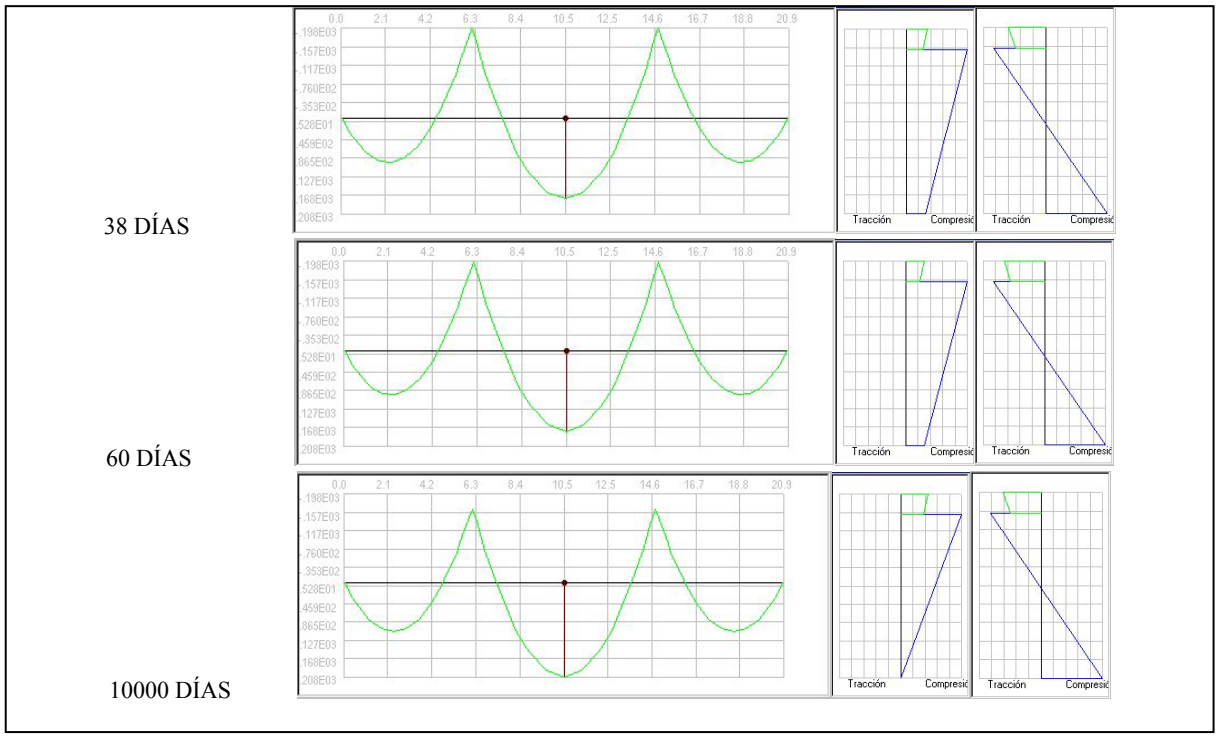

Figura 9 Evolución de la estructura 3

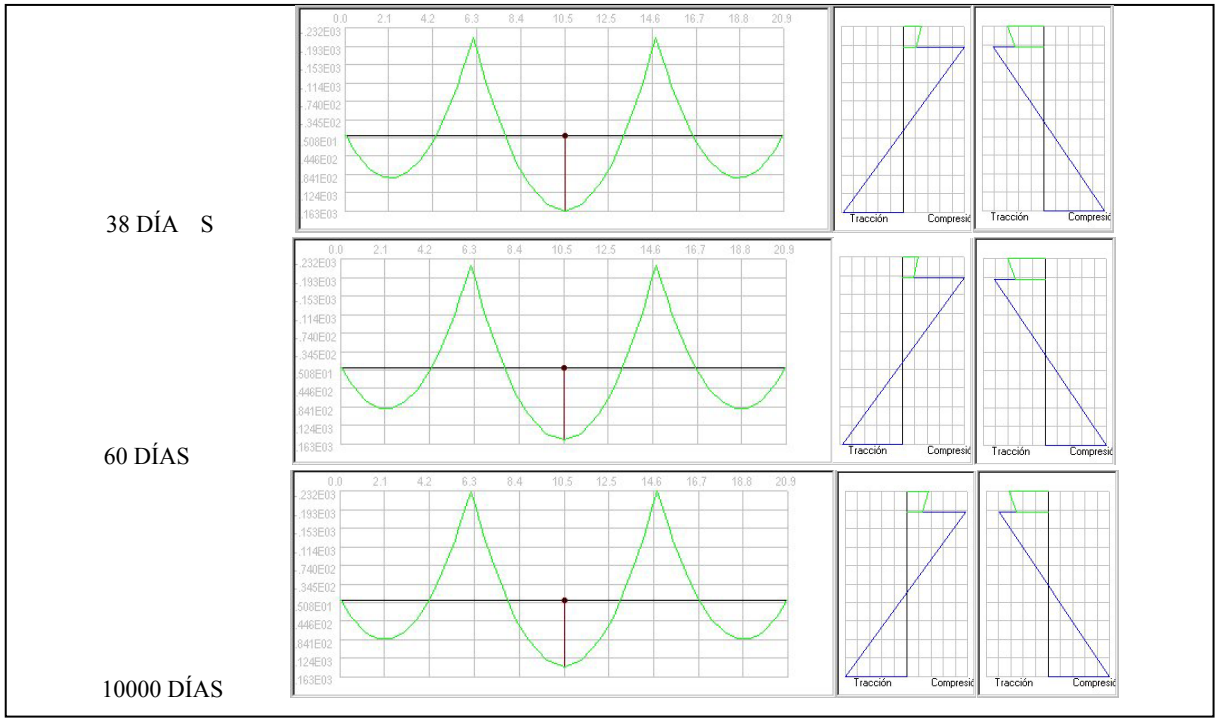

Figura 10 Evolución estructura 4

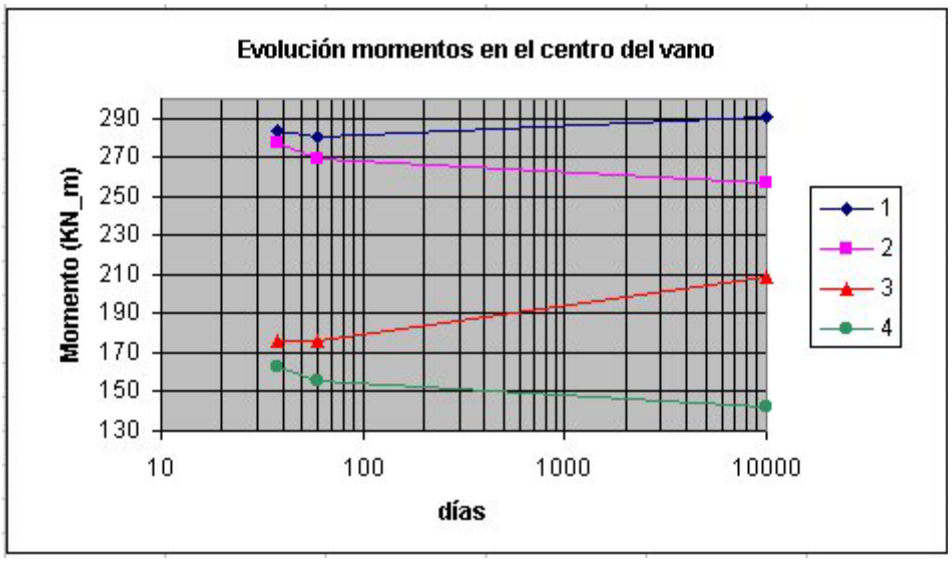

Figura 11 Comparación entre la evolución de los momentos de centro luz en las cuatro estructuras

En la figura 11 y en la tabla 1 se muestra una comparación de las evoluciones de momentos y tensiones entre las cuatro estructuras. La descripción de cada caso se hace en la tabla 1. Se destaca que la variación en el tiempo de los esfuerzos flectores puede llegar a ser muy importante, sobre todo en los casos 2 y 3.

Tabla 1 Comparación entre la evolución de los momentos de centro luz y apoyos en las cuatro estructuras

Nº	Apeos	Pretensado		38 días	60 días	10000 días
1	NO	3+5+13	8.5 CL	284.0448	280.3761	290.6802
			APOYO	-68.066	-71.7509	-61.641
2	NO	2+9	8.5 CL	277.0369	269.097	256.8626
			APOYO	-74.9995	-82.9398	-95.0697
3	SÍ	2+9	8.5 CL	175.953	176.5401	208.4068
			APOYO	-197.7803	-197.248	-165.3022
4	SÍ	Nada	8.5 CL	163.1827	155.6353	141.8276
			APOYO	-210.5839	-218.0499	-231.7971

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado e implementado una metodología simplificada para el cálculo de los efectos estructurales de la retracción, la fluencia y el proceso constructivo (incluyendo cambios de las configuraciones de apoyo) de obras prefabricadas de elementos tipo barras de sección transversal compuesta por hormigones diferentes que es capaz de reproducir la redistribución de tensiones a nivel sección y de esfuerzos a nivel de estructuras hiperestáticas. Se mantienen las hipótesis de sección plana y de materiales elásticos lineales produciendo resultados simplificados pero con la precisión suficiente como para hacer factible su uso en el proceso de diseño y proyecto de estructuras de edificación prefabricadas preferiblemente prefabricadas.

Como ejemplo se ha presentado una estructura prefabricada de tres vanos resuelta siguiendo dos procedimientos constructivos diferentes (construcción con vigas autoportantes y con vigas apuntaladas) y con tres niveles de pretensado. A edades tempranas las vigas actúan como continuas para todas las cargas excepto su peso propio cuando son apuntaladas durante el proceso constructivo. En cambio, parte de la carga permanente es soportada como viga simple y parte como viga continua en el caso de elementos autoportantes. Se ha demostrado que estos esfuerzos debidos a cargas permanentes varían significativamente en el tiempo debido a las complejas acciones introducidas por el proceso constructivos y al nivel de pretensado. Estas redistribuciones pueden ocurrir hacia los apoyos, reduciéndose el momento positivo en el centro del vano y aumentando el momento negativo en los apoyos, o hacia el centro del vano aumentando el momento en el centro del vano y disminuyendo el momento negativo en los apoyos que puede llegar a cambiar de signo.

El sentido de esta redistribución está esencialmente influenciado por la fluencia debida a las acciones aplicadas antes de materializar la continuidad estructural. Intervienen tanto la fluencia debida al pretensado como a las cargas permanentes aplicadas antes de la continuidad estructural. La primera es superior a las de las cargas permanentes, la redistribución es hacia el centro de vano surgiendo momentos positivos en los apoyos para mantener la continuidad en los nudos. El efecto es similar al de un esfuerzo hiperestático de pretensado que tiene lugar *a posteriori* aunque este haya sido aplicado a una viga simple.

Por otro lado, si se trata de un pretensado parcial dispuesto exclusivamente para contrarrestar las cargas permanentes aplicadas antes de la continuidad, la redistribución de esfuerzos es pequeña o casi nula, no obstante, el diagrama de tensiones en la sección sí puede experimentar cierta redistribución entre los distintos hormigones. La mayor redistribución hacia los apoyos ocurre cuando los elementos no son pretensados, esta puede ser importante incluso si las vigas son apuntaladas.

Otro hecho que debe destacarse es la redistribución seccional del pretensado. Inicialmente, el pretensado es introducido a la parte de la sección que es prefabricada. Debido a los efectos diferidos se ha observado redistribución de las compresiones de pretensado desde la sección parte de la sección prefabricada hacía la parte hormigonada *in situ* resultando menos efectivo para precomprimir las fibras inferiores. Al seguir un proceso constructivo de este tipo debe esperarse que parte del pretensado sea efectivo para la sección compuesta y otra parte sólo para la sección inicialmente pretensada.

El modelo desarrollado e implementado permite estimar estas redistribuciones, que pueden llegar a ser importantes, de forma suficientemente sencilla para ser empleado en el diseño y proyecto de edificaciones.

AGRADECIMIENTOS

El presente documento es fruto del trabajo de un equipo de investigadores del Departamento de Ingeniería de la Construcción de la Universidad Politécnica de Cataluña formado por el Dr. Diego Cobo, Ing. Guillem Baraut y los autores de este artículo. Parte de la investigación realizada ha sido implementada en el programa JACENA fruto de un convenio de colaboración Universidad-Empresa entre compañía de prefabricados Hormipresa (España) y la Universidad Politécnica de Cataluña (España).

REFERENCIAS

Baraut G. (2001), "Desenvolupament d'una metodología de càlcul i projecte de forjats continus de plaques alveolars prefabricades de formigó pretensat". Tesina de Especialidad. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, España, (pp. 154).

Comisión Permanente del Hormigón (1999), "Instrucción de Hormigón Estructural EHE". Ministerio de Fomento: Centro de Publicaciones, España, (pp. 470).

Comité Euro-International du Béton (1995), "Código Modelo CEB-FIP 1990 para hormigón estructural. Estructuras y Edificación (E-4)". GEHO-CEB, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, España.

Comité Europeo de Normalización, CEN (1993), "Eurocódigo 2. Parte 1-1 Reglas Generales y Reglas para la Edificación". AENOR, España.

Comité Europeo de Normalización, CEN (1993), "Eurocódigo 2. Parte 1-2 Reglas Generales. Elementos y estructuras prefabricadas de hormigón". AENOR, España.

Ghali A., Favre R (1994), "Concrete Structures. Stresses and Deformations". Ed. E&FN SPON, 2ª Edición.

Grupo Español del Hormigón GEHO (1998), "Caracterización de las Propiedades Diferidas del Hormigón y su Incidencia Estructural" Grupo Español del Hormigón, Boletín N.º 22, España, (pp. 218).

Marí A. R.(1998), "Programa CONS para el análisis no lineal en el tiempo de estructuras de hormigón estructural construidas evolutivamente". Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Cataluña, España, (pp 44.).

Santamaría A (1999), "Efectos Estructurales de la Fluencia y la Retracción". Apuntes de curso de doctorado. Departamento de Diseño y Construcción de Estructuras de Edificación y Obras Públicas, Universidad de Cantabria, España.

Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería de la Construcción (2002), "JACENA. Programa para el Cálculo y Dimensionado de Forjados Continuos Prefabricados de Hormigón Pretensado y Armado. Manual del Usuario". Universidad Politécnica de Cataluña, España, (pp. 69).